



**TUGAS AKHIR - SF 091321**

**RANCANG BANGUN ALAT UKUR KOEFISIEN  
PERMEABILITAS TANAH MENGGUNAKAN  
METODE *FALLING HEAD***

**FAHRUR ASLAMI  
NRP 1110 100 039**

**Dosen Pembimbing:**

- 1. Drs. Bachtera Indarto, M.Si**
- 2. Dr. Dwa Desa Warnana**

**Jurusan Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2014**



**TUGAS AKHIR - SF 091321**

**RANCANG BANGUN ALAT UKUR KOEFISIEN  
PERMEABILITAS TANAH MENGGUNAKAN  
METODE *FALLING HEAD***

**FAHRUR ASLAMI  
NRP 1110 100 039**

**Dosen Pembimbing:**

- 1. Drs. Bachtera Indarto, M.Si**
- 2. Dr. Dwa Desa Warnana**

**Jurusan Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2014**

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



**FINAL PROJECT- SF 091321**

# **DESIGN AND MEASUREMENT METHODS FOR SOIL PERMEABILITY COEFFICIENT WITH FALLING HEAD TEST**

**FAHRUR ASLAMI**  
**NRP 1110 100 039**

**Advisor:**

- 1. Drs. Bachtera Indarto, M.Si**
- 2. Dr. Dwa Desa Warnana**

**Physics Department**  
**Faculty of Mathematics and Natural Science**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**Surabaya 2014**

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# **RANCANG BANGUN ALAT UKUR KOEFISIEN PERMEABILITAS TANAH MENGGUNAKAN METODE FALLING HEAD**

**Nama/ NRP : Fahrur Aslami**  
**NRP : 1110 100 039**  
**Jurusan : Fisika FMIPA ITS**  
**Pembimbing : 1. Drs. Bachtera Indarto, M.Si**  
**2. Dr. Dwa Desa Warnana**

## **Abstrak**

*Telah dilakukan pembuatan alat ukur koefisien permeabilitas tanah dengan metode falling head dengan menggunakan parameter level perubahan air yang digunakan untuk menguji laju infiltrasi pada tanah sampel. Transduser yang digunakan adalah potensiometer yang dapat mengubah gaya tarik dari bandul yang terhubung pada perubahan level air menjadi besaran listrik dengan menggunakan prinsip pembagi tegangan. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan Arduino Duemilanove yang mempunyai fitur ADC 10 bit, pembacaan tegangan sebesar 1 mm per 5 angka digital. Peralatan mekanik yang digunakan adalah variasi dari gear-gear yang berfungsi untuk merubah gaya berat menjadi gaya sentrifugal pada potensiometer. Jangkauan pengukuran yang mampu dilakukan sebesar 17 cm. Hasil percobaan dengan metode falling head ini memberikan kesimpulan bahwa pada sampel tanah uji dari Kanor memiliki koefisien permeabilitas sebesar  $5,7 \cdot 10^{-5}$  m/s. Untuk tanah jenis pasir diperoleh nilai koefisien permeabilitas sebesar  $2,7 \cdot 10^{-5}$  m/s*

**Kata kunci:** ADC, Arduino Duemilanove, koefisien permeabilitas, data logger, metode falling head



## DESIGN AND MEASUREMENT METHODS FOR SOIL PERMEABILITY COEFFICIENT WITH FALLING HEAD TEST

**Name/ NRP** : **Fahrur Aslami**  
**NRP** : **1110 100 039**  
**Dapartment** : **Fisika FMIPA ITS**  
**Supervisor** : **1. Drs. Bachtera Indarto, M.Si**  
**2. Dr. Dwa Desa Warnana**

### Abstract

*Coefficient of Soil permeability measuring devices have been fabricated with falling head method using the changes in water level parameters that are used to test the soil samples infiltration rate. The transducer used is a potentiometer that can alter gravity of the pendulum is connected to the water level changes into electrical quantities using a voltage divider principle. Data processing is done by using the Arduino Duemilanove which feature 10-bit ADC, the voltage reading of 1 mm per 5 digital numbers. Mechanical equipment used is a variation of the gear-gear that serves to alter gravity into the centrifugal force on the potentiometer. Range measurements are able to be done by 17 cm. Results of experiments with the method of this tester head falling to the conclusion that the test soil samples from kanor have a permeability coefficient of  $5,7 \cdot 10^{-5}$  cm / s. For the sand soil type k values obtained by  $2,7 \cdot 10^{-5}$  cm / s*

**Keyword:** ADC, Arduino Duemilanove, permeability coefficient, data logger, falling head tester





**RANCANG BANGUN ALAT UKUR KOEFISIEN  
PERMEABILITAS TANAH MENGGUNAKAN  
METODE FALLING HEAD**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains  
Pada  
Program Sarjana S-1 Jurusan Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh :  
**FAHRUR ASLAMI**  
NRP. 1110 100 039

**Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :**

**1. Drs. Bachtera Indarto , M.Si**

**2. Dr.Dwa Desa Wamana**



## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

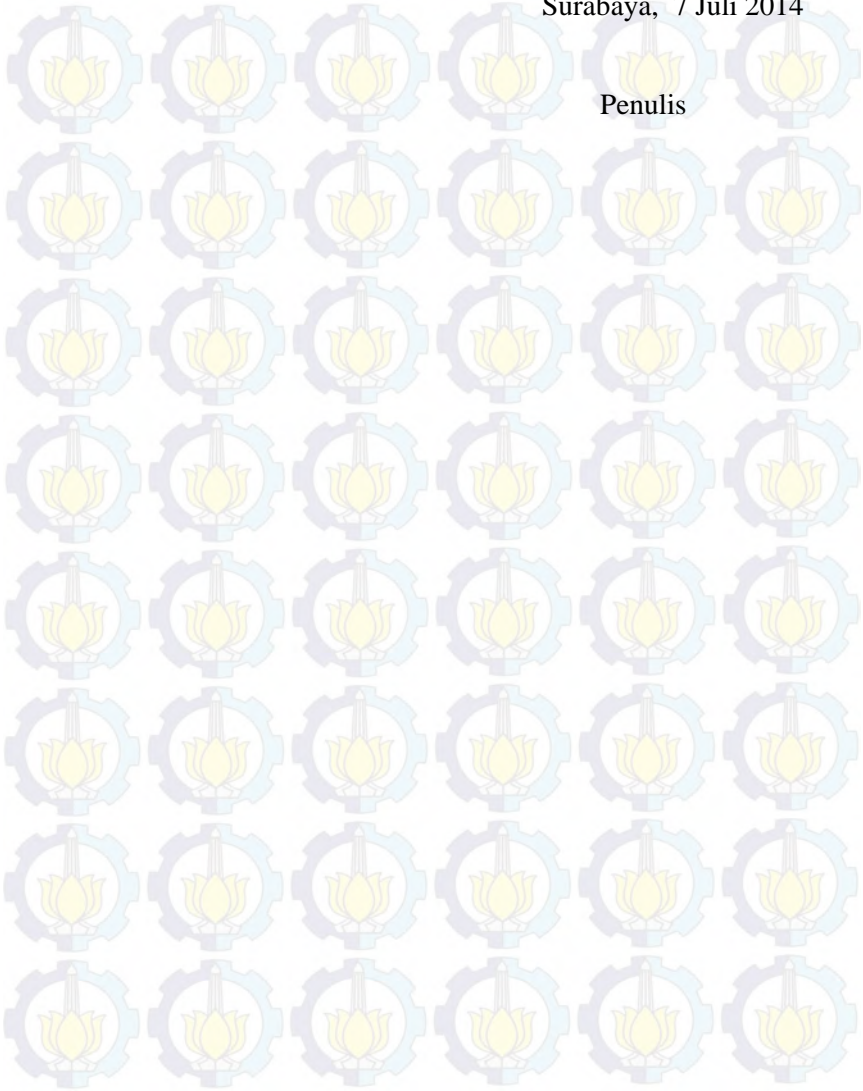
*Alhamdulillah*, puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah *SubhanahuwaTa'ala*, karena dengan segala nikmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “rancang bangun alat ukur koefisien permeabilitas tanah menggunakan metode falling head”. Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam pengerjaan Tugas Akhir serta perkuliahan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Ucapan terimakasih secara khusus penulis sampaikan kepada:

1. Bapak Sujiwo, Ibu Murtiningsih dan kakak Yonny wicaksono atas segala kerja keras dan doanya dalam mendidik dan membesarkan penulis.
2. Drs. Bachtera Indarto, M.Si dan Dr. Dwa Desa Warnana yang telah bersedia membimbing dan memberikan fasilitas kepada penulis dalam pelaksanaan Tugas Akhir.
3. Segenap dosen dan karyawan Jurusan Fisika FMIPA ITS Surabaya.
4. Teman-teman angkatan 2010, kombong robot cerdas FMIPA ITS yang telah memberi motivasi besar dalam menyelesaikan Tugas Akhir Ini.
5. Rekan-rekan seperjuangan dan keluarga besar *cosimc 2010* yang telah memberikan rona dan warna dalam mengarungi hitam-putihnya masa kuliah.

Saran dan kritik penulis harapkan untuk perbaikan diri serta karya dari penulis.

Surabaya, 7 Juli 2014

Penulis





## DAFTAR ISI

|  |              |
|--|--------------|
| <b>HALAMAN JUDUL</b>                       | <b>i</b>     |
| <b>LEMBAR PENGESAHAN</b>                   | <b>v</b>     |
| <b>ABSTRAK</b>                             | <b>vii</b>   |
| <b>ABSTRACT</b>                            | <b>ix</b>    |
| <b>KATA PENGANTAR</b>                      | <b>xi</b>    |
| <b>DAFTAR ISI</b>                          | <b>xiii</b>  |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b>                       | <b>xv</b>    |
| <b>DAFTAR TABEL</b>                        | <b>xvii</b>  |
| <br><b>BAB I. PENDAHULUAN</b>              | <br><b>1</b> |
| 1.1 Latar Belakang                         | 1            |
| 1.2 Perumusan Masalah                      | 1            |
| 1.3 Batasan Masalah                        | 2            |
| 1.4 Tujuan                                 | 2            |
| 1.5 Manfaat                                | 2            |
| 1.6 Sistematika Penulisan                  | 2            |
| <br><b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</b>        | <br><b>3</b> |
| 2.1 Tanah                                  | 3            |
| 2.2 Hukum Darcy                            | 5            |
| 2.3 Falling Head Test                      | 6            |
| 2.4 Karakteristik Dasar Alat Ukur          | 8            |
| 2.5 Sensor Dan Transduser                  | 11           |
| 2.6 Pengukuran Level Menggunakan Pelampung | 11           |
| 2.7 Devais Resistansi Variabel             | 12           |
| 2.8 Kalibrasi                              | 15           |
| 2.9 Arduino                                | 16           |
| 2.10 Sistem Akuisisi Data                  | 21           |

### **BAB III. METODE PENELITIAN**

**23**

3.1 Diagram Alir Penelitian

23

3.2 Alat dan Bahan

24

3.3 Langkah Kerja

24

3.4 Kalibrasi

33

3.5 Koefisien Permeabilitas

34

### **BAB IV. ANALISIS HASIL PENELITIAN**

**37**

4.1 Hardware

39

4.2 Kalibrasi Ketinggian Air

41

4.3 Pengukuran Permeabilitas Tanah

43

4.4 Pengukuran Permeabilitas Pasir

45

### **BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN**

**43**

5.1 Kesimpulan

43

5.2 Saran

43

### **DAFTAR PUSTAKA**

**47**

### **LAMPIRAN**

**48**

## DAFTAR GAMBAR

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Gambar-2.1  | Skema percobaan darcy.  | 5  |
| Gambar-2.2  | Skema pengujian <i>falling head test</i>                                      | 7  |
| Gambar-2.3  | Pengukuran permukaan dengan menggunakan pelampung.                            | 11 |
| Gambar-2.4  | Transduser sirnpangan potensiometer   | 12 |
| Gambar-2.5  | Arduino <i>board</i>  | 15 |
| Gambar-2.6  | Skematik rangkaian arduino duemilanove  | 18 |
| Gambar-2.7  | Program arduino ide   | 19 |
| Gambar-3.1  | Diagram alir penelitian   | 23 |
| Gambar-3.2  | diagram blok pengambilan data   | 25 |
| Gambar-3.3  | rancang bangun sistem pengukuran dengan metode falling head yang dimodifikasi | 26 |
| Gambar-3.4  | sistem mekanis pengukuran dalam boks  | 27 |
| Gambar-3.5  | model pelampung yang digunakan  | 30 |
| Gambar-3.6  | model jari-jari girasi  | 31 |
| Gambar-3.7  | rangkaian pembagi tegangan  | 33 |
| Gambar-3.8  | konfigurasi pin memori  | 34 |
| Gambar-3.9  | diagram alir pengukuran ketinggian  | 36 |
| Gambar-3.10 | diagram alir pengukuran waktu   | 37 |
| Gambar-4.1  | Grafik hubungan antara ADC dengan ketinggian sebelum dikalibrasi              | 41 |
| Gambar-4.1  | Grafik ketinggian permukaan air terhadap nilai ADC setelah dikalibrasi        | 42 |





## DAFTAR TABEL

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Tabel-2.1 | Daftar nilai permeabilitas (k) tanah                 | 3  |
| Tabel-2.2 | Datasheet arduino duemilanove                        | 16 |
| Tabel-3.1 | Alat dan bahan                                       | 24 |
| Tabel-4.1 | Data kalibrasi bandul                                | 40 |
| Tabel-4.2 | Data nilai waktu selisih jarak 1cm                   | 43 |
| Tabel-4.3 | data perhitungan nilai koefisien permeabilitas tanah | 44 |
| Tabel-4.3 | Data perhitungan nilai koefisien permeabilitas pasir | 45 |



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Koefisien permeabilitas tanah ( $k$ ) digunakan untuk mengetahui besarnya rembesan pada permasalahan bendungan, saluran irigasi, tanggul tanah, sumur resapan dan lainnya. Metode yang biasa digunakan untuk pengukuran permeabilitas tanah ini menggunakan metode *falling head test* dan *constant head test*. Pengukuran dapat dilakukan di lapangan maupun di dalam laboratorium. Pada pengukuran di laboratorium dengan metode *falling head* yang memanfaatkan sensor ketinggian dapat digunakan untuk mengetahui laju aliran fluida sehingga diharapkan mampu mendapatkan nilai koefisien permeabilitas tanah yang tepat dan akurat, (Djarwanti,2008).

Sistem pengukuran manual dengan parameter perubahan ketinggian yang merupakan prinsip kerja alat *falling head* tester dilakukan dengan menggunakan stopwatch manual dan penggaris, yang diamati oleh manusia. Untuk itu diperlukan alat yang dapat menerima energi dari besaran fisis yang diukur dan dikonversi menjadi bentuk yang dapat diukur oleh sistem elektronik sehingga memudahkan dalam pengukuran, (Indarto,2002).

### **1.2. Rumusan Masalah**

Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana cara membuat alat pengukur koefisien permeabilitas tanah berbasis Arduino Duemilanove dengan metode *falling head*.
2. Berapa nilai koefisien permeabilitas tanah.
3. Berapa nilai koefisien permeabilitas pasir.

### **1.3. Batasan Masalah**

Penelitian dalam tugas akhir ini difokuskan pada beberapa hal berikut ini:

1. ArduinoDuemilanove yang digunakan dalam penelitian ini memiliki jenis mikrokontroler Atmega 328 dan diolah dengan menggunakan software arduino 1.5.5.r.2
2. Tanah sampel yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari bantaran sungai bengawan solo di daerah Kanor Bojonegoro dan sampel pasir diambil di depan kombong robot FMIPA ITS.

#### **1.4. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat alat pengukur koefisien permeabilitas tanah dengan metode falling head berbasis Arduino Duemilanove
2. Mengetahui nilai koefisien permeabilitas tanah.
3. Mengetahui nilai koefisien permeabilitas pasir.

#### **1.5. Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini antara lain:

1. Memudahkan para pengambil data untuk mendapatkan informasi dari suatu tanah sampel.

#### **1.6. Sistematika Penulisan Laporan**

Sistematika penulisan tugas akhir ini, tersusun dalam lima bab yaitu:

1. Bab 1 (Pendahuluan) Berisi latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian serta sistematika penulisan laporan.
2. Bab 2 (Tinjaun Pustaka) Berisi mengenai kajian pustaka yang berguna untuk pembuatan tugas akhir.
3. Bab 3 (Metode Penelitian) Berisi perancangan sistem dan perangkat (*hardware* dan *software*).
4. Bab 4 (Analisis Hasil Penelitian) Berupa pengujian dari perangkat keras dan perangkat lunak yang telah dibuat serta menganalisa hasil dari pengujian tersebut.
5. Bab 5 (Kesimpulan dan Saran) Berisi kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan serta saran untuk penelitian berikutnya.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Tanah

#### 2.1.1. Permeabilitas Tanah

Permeabilitas tanah menunjukkan kemampuan tanah dalam meloloskan air ke lapisan bawah profil. Koefisien permeabilitas berperan dalam laju infiltrasi. Koefisien ini bergantung pada ukuran rata-rata pori yang dipengaruhi oleh distribusi ukuran partikel, bentuk partikel, dan struktur tanah. Semakin kecil ukuran dari partikel penyusun tanah maka semakin rendah koefisien permeabilitasnya. Suatu lapisan tanah berbutir kasar yang mengandung butiran-butiran halus memiliki harga koefisien permeabilitas yang lebih rendah dan pada tanah ini koefisien permeabilitas merupakan fungsi angka pori. Tinggi rendahnya permeabilitas ditentukan oleh ukuran pori. Berikut ini adalah daftar beberapa nilai ( $k$ ) untuk jenis-jenis tanah : (Tabel 2.1)

**Tabel 2.1** Nilai permeabilitas ( $k$ ) tanah

| Jenis Tanah  | $k$ (cm/s)          | Keterangan                  |
|--|---------------------|-----------------------------|
| Kerikil  | $>10^{-1}$          | Permeabilitas tinggi        |
| Kerikil halus/pasir                                    | $10^{-1} - 10^{-3}$ | Permeabilitas sedang        |
| Pasir sangat halus<br>Pasir lunak<br>Lanau tidak padat | $10^{-3} - 10^{-5}$ | Permeabilitas rendah        |
| Lanau padat<br>Lanau lempung<br>Lanau tidak murni      | $10^{-5} - 10^{-7}$ | Permeabilitas sangat rendah |
| lempung  | $<10^{-7}$          | Tidak tembus air            |

(Soedarmo, 1993)

Untuk nilai koefisien permeabilitas tanah yang digunakan sebagai bahan drainase tanah adalah sebagai berikut:

- $k > 10^{-4}$  cm/s : drainase yang baik
- $10^{-6} < k < 10^{-4}$  : drainase yang buruk
- $k < 10^{-6}$  : tidak tembus air

Untuk nilai koefisien permeabilitas tanah yang digunakan sebagai bahan bangunan adalah sebagai berikut:

- $k > 10^{-4}$  : bahan tembus air
- $k < 10^{-4}$  : bahan tidak tembus air

Permeabilitas tanah adalah suatu kesatuan yang meliputi infiltrasi tanah dan berfungsi dalam pengolahan tanah, lapisan atas tanah memiliki kecepatan antara lambat sampai agak cepat (0,20-9,46 cm/jam), sedangkan pada lapisan bawah tergolong agak lambat sampai sedang (1,10-3,62 cm/jam). Hal ini disebabkan oleh pengaruh pengolahan tanah, perakaran tanaman, atau pemadatan pedogenesis karena ada penimbunan liat seperti terjadi pada tanah yang mempunyai horizon argilik, (Soedarmo,1993).

Permeabilitas tanah bergantung pada beberapa faktor, yaitu:

- o Viskositas cairan
- o Distribusi ukuran pori
- o Distribusi ukuran butiran
- o Rasio kekosongan
- o Kekerasan partikel mineral
- o Derajat kejenuhan tanah

Hubungan antara permeabilitas tanah dengan erosi adalah apabila permeabilitas dalam tanah terlalu tinggi sehingga menutupi seluruh pori tanah akan terjadi penurunan kekuatan dalam tanah sehingga apabila tanah mendapatkan tekanan dapat mengakibatkan terjadinya longsoran/erosi.(Soedarmo,1993)

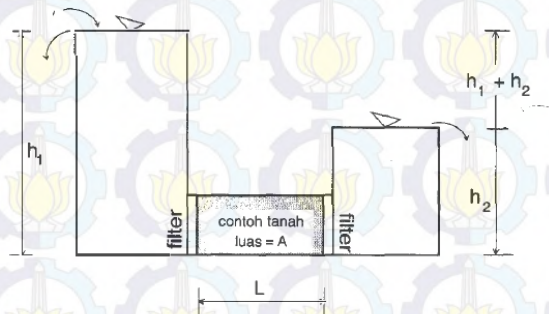
### 2.1.3. Laju Infiltrasi Tanah

Hubungan laju infiltrasi tanah dengan permeabilitas suatu tanah adalah ketika laju infiltrasi tinggi maka koefisien permeabilitas tanah tersebut kecil sehingga air akan mudah melewati pori-pori tanah, begitu juga sebaliknya.

Laju infiltrasi adalah banyaknya air persatuan waktu yang masuk melalui permukaan tanah, dinyatakan dalam mm/jam atau cm/jam. Pada saat tanah masih kering, laju infiltrasi tinggi, namun ketika tanah menjadi jenuh maka laju infiltrasi akan menurun dan menjadi konstan. Faktor-faktor yang mempengaruhi laju infiltrasi antara lain jenis permukaan tanah, cara pengolahan lahan, kepadatan tanah, dan sifat serta jenis tanaman. Kemampuan tanah untuk menyerap air infiltrasi pada suatu saat dinamai kapasitas infiltrasi, (Soedarmo,1993)

## 2.2 Hukum Darcy

Hukum pengaliran air melalui tanah pertama kali dipelajari oleh Darcy (1856), yang mendemonstrasikan percobaannya untuk aliran laminar dalam kondisi tanah jenuh. Kecepatan aliran dan kuantitas/debit air per satuan waktu adalah proporsional dengan gradien hidrolis.



Gambar 2.1 skema percobaan darcy. (Soedarmo,1993)



Pada gambar 2.1, kondisi ketinggian air  $h_1$  akan mengalami penurunan ketinggian ketika air melewati tanah uji, air akan mengalir melewati tanah uji yang kemudian keluar melalui wadah dengan tinggi  $h_2$  yang konstan. Perumusan dari laju aliran air ini dirumuskan oleh Darcy sebagai berikut:

$$q = k \cdot i \cdot A \quad (2.1)$$

atau

$$v = q / A = k \cdot i \quad (2.2)$$

Dalam hal ini :

$q$  = kuantitas air per satuan waktu.

$k$  = koefisien permeabilitas Darcy.

$A$  = luas penampang tanah.

$v$  = kecepatan aliran

$i$  = gradien hidrolik

Jika contoh tanah panjang =  $L$  dan luas penampang =  $A$ , beda tinggi air =  $h_1 - h_2$ , maka gradien hidrolik :

$$i = \frac{h_1 - h_2}{L} \quad (2.3)$$

jika persamaan (2.3) dimasukkan ke dalam persamaan (2.1), maka persamaan (2.1) menjadi:

$$q = k A \frac{h_1 - h_2}{L} \quad (2.4)$$

karena gradien hidrolik tidak berdimensi, maka :  $k$  mempunyai dimensi sama dengan  $v$ . (Soedarmo, 1993)

### 2.3 Falling Head Test

Pengujian dengan metode falling head adalah pengujian sampel tanah berjenis butiran halus seperti lempung dan lanau,



koefisien permeabilitas dari metode ini dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

$$q = k.i.A = k (h/L) = - a (dh/dt) \quad (2.5)$$

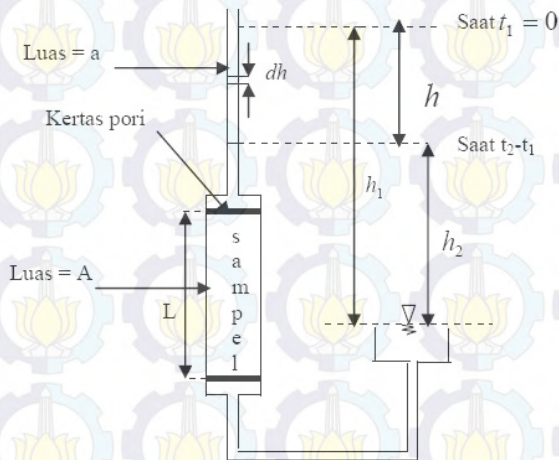
dengan :

$h = h_1 - h_2$  = beda tinggi sembarang waktu(m)

$A$  = luas potongan melintang benda uji ( $m^2$ )

$a$  = luas pipa pengukur ( $m^2$ )

$L$  = panjang sampel (m)



Gambar 2.2 skema pengujian *falling head test*(Djarwanti,2008)

Pada percobaan ini terdapat dua hal yang perlu diperhatikan, yaitu banyaknya air yang akan merembes dan tegangan air di dalam tanah akibat rembesan itu. Dalam percobaan bila ada cukup banyak air dapat merembes ke dalam contoh tanah dalam waktu tidak terlampaui lama, maka percobaan ini dapat dilakukan dengan mengukur banyaknya air yang akan merembes yang disebut *constant head permeability tes*. Apabila daya rembes tanah sangat kecil, maka banyak air yang merembes

ke dalam contoh akan sangat sedikit, sehingga tidak dapat diukur dengan tepat. Dalam hal ini percobaan dilakukan dengan menggunakan metode *falling head test*, (Djarwanti,2008).

#### 2.4 Karakteristik Dasar Alat Ukur

Fungsi alat ukur adalah untuk meraba atau mendeteksi parameter yang terdapat dalam proses industri atau penelitian ilmu pengetahuan seperti : tekanan temperatur aliran, gerakan, tegangan, arus listrik, dan daya. Alat ukur harus mampu mendeteksi tiap perubahan dengan teliti dan dapat membangkitkan sinyal peringatan yang menunjukkan perlunya dilakukan pengaturan secara manual atau mengaktifkan peralatan otomatis. Untuk mendapatkan sifat unjuk kerja yang optimum maka perlu diperhatikan sejumlah karakteristik dasar. Faktor-faktor yang menjadi pertimbangan dalam ketelitian alat ukur adalah sebagai berikut :

1. *Ketelitian*; ketelitian pengukuran atau pembacaan merupakan hal yang sifatnya relatif pada pengukuran. Ketelitian dipengaruhi kesalahan statis, kesalahan dinamis, drift/sifat berubah, reproduksibilitas dan non ketelitian yang didefinisikan sebagai kedekatan (*closeness*) pembacaan terhadap harga standar yang diterima atau harga benar.
2. *Kesalahan*; Terdapat hubungan antara yang diukur dengan output teoritis atau ideal dari sebuah transduser. Pada transduser ideal outputnya memberikan harga yang benar. Dalam batas jangkauan tertentu dari sebuah transduser terdapat hubungan antara output transduser dengan kurva teoritis. Harga output ideal tidak memperhatikan keadaan lingkungan (*ambient environmental*) seperti kondisi instrumen sebenarnya. Pada kenyataannya output transduser memiliki sifat non ideal, maka terdapat deviasi yang diukur dengan harga yang

benar, perbedaan dari harga yang dibaca dengan harga yang benar disebut kesalahan (*error*). Perbandingan kesalahan ini terhadap skala penuh output adalah merupakan ketelitian alat. Dengan mengetahui kesalahan individual, dapat digunakan untuk koreksi dari data akhir maka akan menaikkan ketelitian pengukuran.

3. *Linearitas*; Linieritas didefinisikan sebagai kemampuan untuk mereproduksi karakteristik input secara simetris, dan ini dapat dirumuskan sebagai  $y = mx + c$ , dengan  $y$  output,  $x$  input  $m$  kemiringan dan  $c$  titik potong. Kedekatan kurva kalibrasi dengan sebuah garis lurus adalah kelinieran transduser. Ketidaklinieran mungkin disebabkan oleh sifat : bahan yang tidak linier pada komponen, penguat elektronika, histeresis mekanik, aliran kental atau merayap, bagian yang lewat elastis pada bahan mekanik. Linieritas dinyatakan sebagai prosentase penyimpangan dari harga linier, yaitu deviasi maksimum kurva output dari *best-fit* garis lurus selama kalibrasi.
4. *Ambang*; ambang adalah besaran numerik pada output yang berhubungan dengan perubahan input. Bila input instrumen dinaikkan secara bertahap dari nol, terdapat harga minimum dibawah harga ini. Pada output tidak ada perubahan yang dapat terbaca. Harga minimum ini didefinisikan sebagai ambang instrumen. Gejala pada saat besaran ambang dapat diamati yaitu bila output mulai menunjukkan perubahan. Sering diperlukan harga yang kuantitatif yaitu untuk menentukan ambang data yang reproduktif, (Mengko,1988).



## 2.5 Sensor Dan Tranduser

Tranduser adalah suatu alat yang dapat mengukur besaran fisis dan dirubah menjadi besaran listrik. Konversi oleh tranduser dinyatakan persamaan matematis yaitu berhubungan antara keluaran yang merupakan fungsi dari masukan. Perbandingan antara sinyal keluaran dengan sinyal masukan disebut sebagai fungsi karakteristik tranduser.

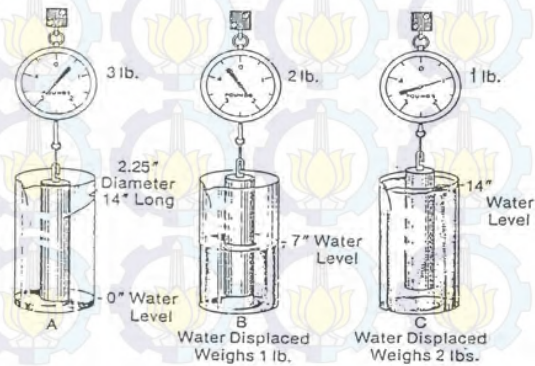
Umumnya tranduser adalah komponen aktif yang berarti memerlukan daya dari luar agar dapat bekerja, sedangkan tranduser pasif adalah tranduser yang dapat mengkonversi besaran fisis menjadi besaran listrik. Resistansi potensimeter dapat diubah dengan mengubah posisi tombol yang dilewatkan melalui potensimeter, pengukuran tegangan yang timbul akan memberikan hasil nilai hambatan dari potensimeter. Contoh tranduser aktif adalah potensimeter.

Transduksi adalah proses perubahan nilai besaran dalam tranduser akibat adanya perubahan variabel besaran fisis. Tranduser aktif biasanya mengandung elemen rangkaian pasif, antara lain resistor, kapasitor atau induktor. Transduksi terdiri dari beberapa jenis transduksi dasar antara lain transduksi resistif, kapasitif dan induktif, (Indarto, 2003).

## 2.6 Pengukuran Level Menggunakan Pelampung

Alat-alat instrumen yang digunakan untuk mengukur dan menunjukkan tinggi permukaan cairan dikenal dengan istilah level. Pengukuran level adalah proses pengukuran yang berkaitan dengan keterpasangan peralatan proses yang berbentuk kolom seperti : tangki, drum, tabung silinder. Tujuan dari pengukuran dan pengendalian level adalah untuk mencegah agar peralatan instrument pada suatu lapangan tidak mengalami kelebihan/kekurangan fluida yang akhirnya dapat merusak peralatan-peralatan instrument tersebut. Salah satu cara pengukuran level adalah dengan menggunakan pelampung, pada dasarnya gerakan dari permukaan cairan diikuti dengan perubahan posisi pelampung yang selanjutnya diolah ke tranduser

lain. Dengan menggunakan pelampung, daerah kerja pengukur permukaan dapat diperbesar (lebih dari 1 meter). Skala pembacaan dapat diletakkan pada tempat yang tinggi atau rendah, atau terpisah jauh dari tangki cair. Untuk memperoleh ketelitian yang baik, pelampung harus tercelup sampai batas penampung yang terbesar.



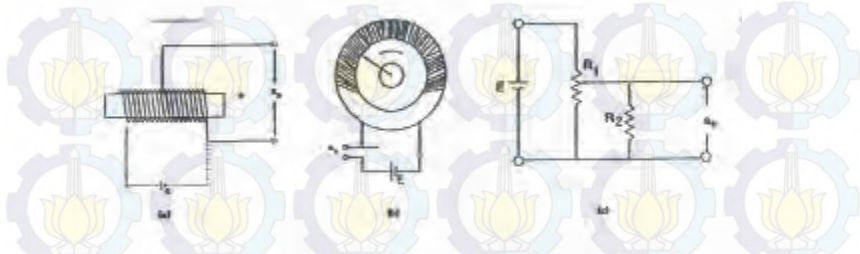
Gambar 2.3 pengukuran permukaan dengan menggunakan pelampung. (Mengko, 1988)

Gaya yang bekerja pada pelampung adalah gaya berat, ketika permukaan air mengalami perubahan penurunan, maka pelampung akan memiliki gaya berat yang berbeda seperti yang terlihat pada gambar 2.3. Berat dari pelampung ini yang dimanfaatkan untuk mengkonversi besaran ketinggian permukaan menjadi gaya sentrifugal, (Mengko, 1988).

## 2.7 Devais Resistansi Variabel

Transduser simpangan yang memakai elemen transduksi resistansi variabel potensiometrik umumnya sebagai devais hubung poros (shaft coupled). Elemen sensor terdiri dari potensiometer resistor yang memakai kontak penggesek (wiper) yang dapat digerakkan dan dihubungkan memakai poras bahan isolator dengan titik yang diukur.

Gerakan kontak penggesek dapat translasi atau rotasi atau kombinasi dengan demikian dapat mengukur simpangan translasi dan putar/rotary. Konstuksi relatif sederhana bila dilihat dari kontak gesek (wiper) bergerak pada elemen resistor linier yang berbentuk kawat atau lapisan plastik konduktif. Resistivitas dan koefisien temperatur dari elemen resistor harganya harus dipilih sesuai dengan resistivitas yang diperlukan dan dapat bekerja dalam batas temperatur yang luas. Konstruksi dari potensiometer linier dan putar dapat dilihat pada gambar 2.4



Gambar 2.4 Transduser simpangan potensiometer. (a). Gerakan linier (b). Gerakan sudut (c). Rangkaian. (Mengko, 1988)

Tiga bagian penting pada komponen potensiometer ialah lilitan kawat, pembentuk lilitan dan penggerak. Lilitan kawat terdiri dari bahan resistor. Presisi memakai diameter 25 hingga 50 mikron dan digulung pada silinder mandrel keramik datar, gelas atau aluminium yang dianodisasi (terlapis oksida aluminium sebagai isolator). Kawat dipanaskan dalam ruangan bebas oksigen



agar tidak teroksidasi. Resistansi dapat berkisar antara 0,4 -1,3 mikro Ohm-meter, dan koefisien temperatur 0,002 hingga 0,01% per derajat Celcius. Kawat harus kuat, mudah dikerjakan (ductile) dan terlindung dari korosi, permukaan memakai lapisan email atau oksida, Toleransi dimensi harus kurang dari 1% dan stabilitas resistansi harus tinggi. Kawat yang biasa dipakai antara lain tembaga-nikel, nikel-kromium dan perak-paladium. Lilitan dapat linier, toroid, heliks dan mempunyai jarak uniform dan tegangan tarik yang konstan.

Elemen transduksi yang telah diterangkan diatas dapat digunakan pada simpangan linier maupun putar. Jangkauan kelinieran sangat tergantung pada desain keramik, Harga resistansi dan kapasitansi arus harus dipilih agar sesuai dengan keperluan, umumnya pada harga normal mempunyai jangkauan 2 hingga 10 cm (skala penuh/full scale/f.s.), resistansi 100 hingga 50.000 Ohm, dan kapasitansi arus 0,5 hingga 5 mA. Resolusi alat tergantung pada lebar penggesek, diameter kawat resistor dan jarak antar Jilitan. Pilihan optimum dicari agar mendapatkan ketelitian dan resolusi tertinggi. Dalam hal elemen lilitan kawat (wire wound) perbandingan diameter kawat penggesek dengan jarak lilitan biasanya bernilai 10, dan resolusi yang dapat dihasilkan 0,05% - 0,1%. Kelinieran sebesar 0,1% mudah didapat bila diameter kawat uniform dan juga resistansi jenisnya. Kelinieran yang dihasilkan tergantung pada resolusi minimum yang dapat dihasilkan oleh devais/alat tersebut. Bila resolusi yang didapat  $n\%$  dari skala penuh maka kesalahan kelinieran tidak dapat lebih kecil dari  $+ 1/2 n\%$  dari skala penuh. Kelinieran merupakan fungsi jarak ulir lilitan (pitch), variasi diameter kawat dan ketidakrataan dimensi pembentuk lilitan dan gerakan penggesek. Biasanya mempunyai harga kelinieran sekitar 0,1 %. Kelinieran rangkaian dapat ditentukan memakai perbandingan resistansi potensiometer  $R_1$  dengan resistansi  $R_2$ .

Transduser simpangan untuk langkah yang sangat pendek dapat direncanakan memakai sensor strain-gauge (bentuk bonded atau unbonded) dengan presisi tinggi. Gerakan yang

diukur disalurkan memakai bahan elastis, seperti batang Kantilever, dan adanya tegangan (stress) yang menyebabkan simpangan berhubungan dengan gerak. Prinsip ini diperluas untuk transduser gaya, tekanan dan percepatan. (Mengko, 1988)

## 2.8. Kalibrasi

Kalibrasi merupakan proses verifikasi bahwa suatu akurasi alat ukur sesuai dengan rancangannya. Kalibrasi bisa dilakukan dengan membandingkan suatu standar yang terhubung dengan standar nasional maupun internasional dan bahan-bahan acuan tersertifikasi.

Sistem manajemen kualitas memerlukan sistem pengukuran yang efektif, termasuk di dalamnya kalibrasi formal, periodik dan terdokumentasi, untuk semua perangkat pengukuran. ISO 9000 dan ISO 17025 memerlukan sistem kalibrasi yang efektif.

Kalibrasi diperlukan untuk :

- Perangkat baru
- Suatu perangkat dalam waktu tertentu
- Setiap perangkat setiap waktu penggunaan tertentu (jam operasi)
- Ketika suatu perangkat mengalami pengaruh luar yang berpotensi mengubah kalibrasi
- Ketika hasil observasi dipertanyakan

Kalibrasi pada umumnya, merupakan proses untuk menyesuaikan keluaran dari suatu perangkat pengukuran agar sesuai dengan besaran dari standar yang digunakan dalam akurasi tertentu. Contohnya, termometer dapat dikalibrasi sehingga kesalahan indikasi atau koreksi dapat ditentukan dan disesuaikan sehingga termometer tersebut menunjukkan temperatur yang sebenarnya dalam celcius pada titik-titik tertentu di skala. (Morris, 2001).

## 2.9. Arduino

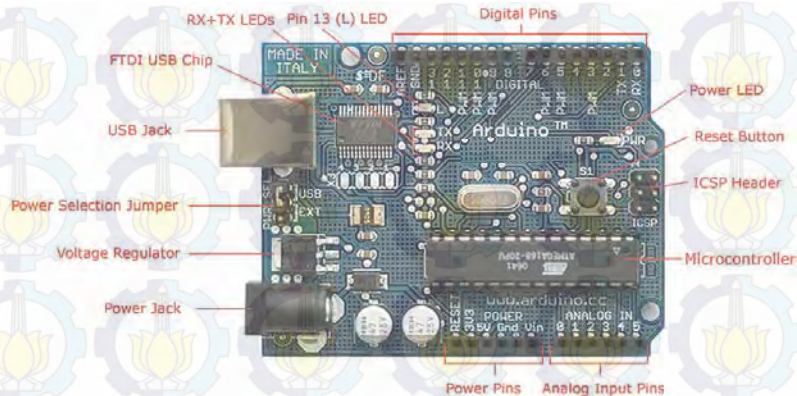
Arduino merupakan modul *single board* berbasis mikrokontroler yang bersifat *open source* (baik hardware maupun software), diturunkan dari *Wiring Platform*, dan dirancang untuk



memudahkan user dalam penggunaan elektronik dalam berbagai bidang. Arduino dapat dikatakan sebagai sebuah platform dari physical computing yang bersifat open source. Arduino tidak hanya sekedar sebuah alat pengembangan, tetapi merupakan kombinasi dari hardware, bahasa pemrograman dan Integrated Development Environment (IDE). IDE adalah sebuah software yang sangat berperan untuk menulis program, meng-*compile* menjadi kodebiner dan meng-*upload* kedalam memory mikrokontroler, ([www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)).

### 2.9.1. Hardware Arduino

Modul Arduino yang diproduksi hingga saat ini berbasis mikrokontroler AVR 8bit RISC (seri ATmega) seperti ATmega168, ATmega328, ATmega1280 dan ATmega2560 yang telah dilengkapi *bootloader* untuk membantu proses pengisian program. Salah satu contoh hardware Arduino adalah “Arduino Duemilanove” seperti pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Arduino Board

Seperti yang terlihat pada Gambar 2.5, Arduino Duemilanove atau yang biasa disebut dengan Arduino 2009 merupakan *board* mikrokontroler (minimum sistem) berbasis ATmega168 atau ATmega328. Mikrokontroler ini memiliki 14 pin digital input/output (6 diantaranya dapat digunakan sebagai

PWM output), 6 analog input, sebuah 16MHz osilator kristal (x-tal), koneksi USB, ICSP *header* dan terminal daya 7-12V (rekomen-dasi). Arduino Duemilanove memiliki sejumlah fasilitas untuk berkomunikasi dengan komputer ataupun dengan mikrokontroller lain. Atmega168 dan Atmega328 menyediakan komunikasi UART TTL (5V), ini tersedia pada pin 0 (RX) dan 1 (TX). Sebuah komunikasi serial dengan FTDI FT232RL memudahkan modul Arduino ini untuk berkomunikasi langsung melalui USB. Atmega168 dan Atmega328 juga mendukung komunikasi dengan I<sup>2</sup>C (TWI) dan komunikasi SPI (*Serial Peripheral Interface*), ([www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)).

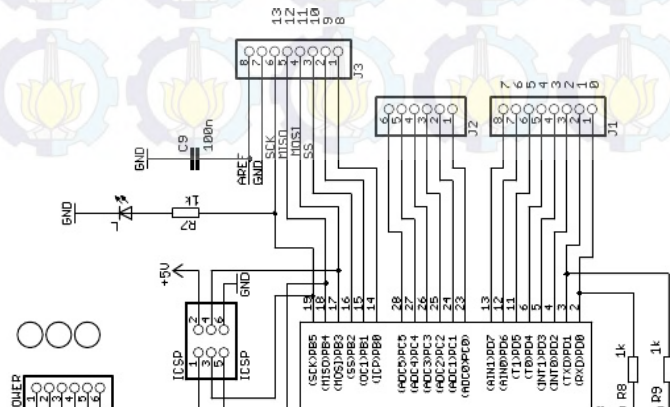
Tabel 2.2 Datasheet Arduino Duemilanove

|                          |  |
|--------------------------|--|
| Mikrokontroller          | Atmega168 / Atmega328  |
| Tegangan Operasi         | 5V   |
| Catu Daya:               |  |
| - Rekomendasi            | 7-12V  |
| - Batas (limit)          | 6-20V  |
| Jumlah Pin Digital I/O   | 14 pin (6 pin bisa digunakan sebagai output PWM)   |
| Jumlah Input Analog      | 6 pin  |
| Arus DC per Pin I/O      | 40 mA  |
| DC Current pada Pin 3.3V | 50 mA  |
| Memori <i>Flash</i>      | 16Kb (Atmega168) / 32Kb (Atmega328), 2Kb diantaranya digunakan sebagai <i>bootloader</i> . |
| SRAM                     | 1Kb (Atmega168) / 2Kb (Atmega328)  |
| EEPROM                   | 512bytes (Atmega168) / 1Kb (Atmega328)   |
| Kecepatan <i>Clock</i>   | 16MHz  |

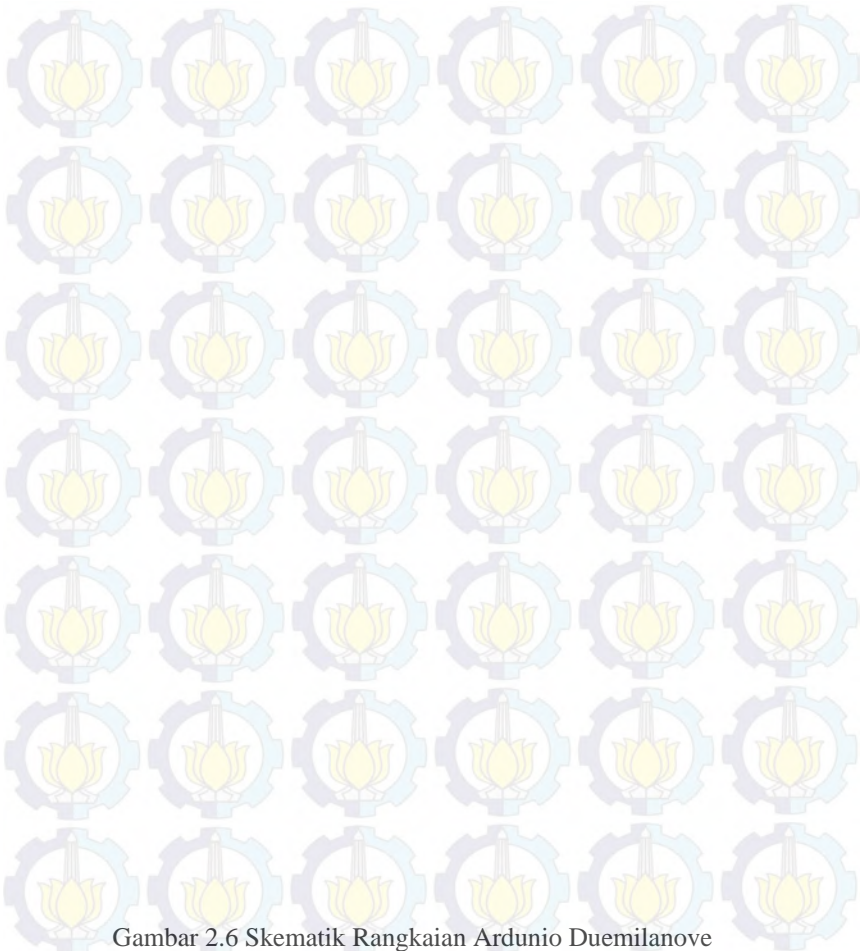
Seperti yang terlihat pada Tabel 2.2, bahwa modul Arduino Duemilanove beroperasi pada tegangan 5V, namun dengan

adanya regulator tegangan 5V di dalamnya, modul ini dapat langsung dicatu oleh tegangan 7-12V. Selain itu di dalam modul juga terdapat regulator tegangan 3,3V yang memungkinkan modul untuk memberi pasokan daya ke perangkat lain yang bekerja pada tegangan 3,3V secara langsung. Memori *Flash* yang disediakan dalam modul ini adalah 16Kb untuk modul dengan IC ATmega168 dan 32Kb untuk modul dengan IC ATmega328, memori *flash* ini cukup untuk keperluan pemrograman sistem yang berbasis mikrokontroler.

Skematik rangkaian Arduino Board dapat dilihat pada Gambar 2.6. Pada gambar tersebut terlihat bahwa modul ini terdiri dari beberapa bagian seperti sistem minimum ATmega, regulator tegangan 5V dan 3,3V, serta modul FT232 sebagai komunikasi *serial* dengan *USB* ke komputer.





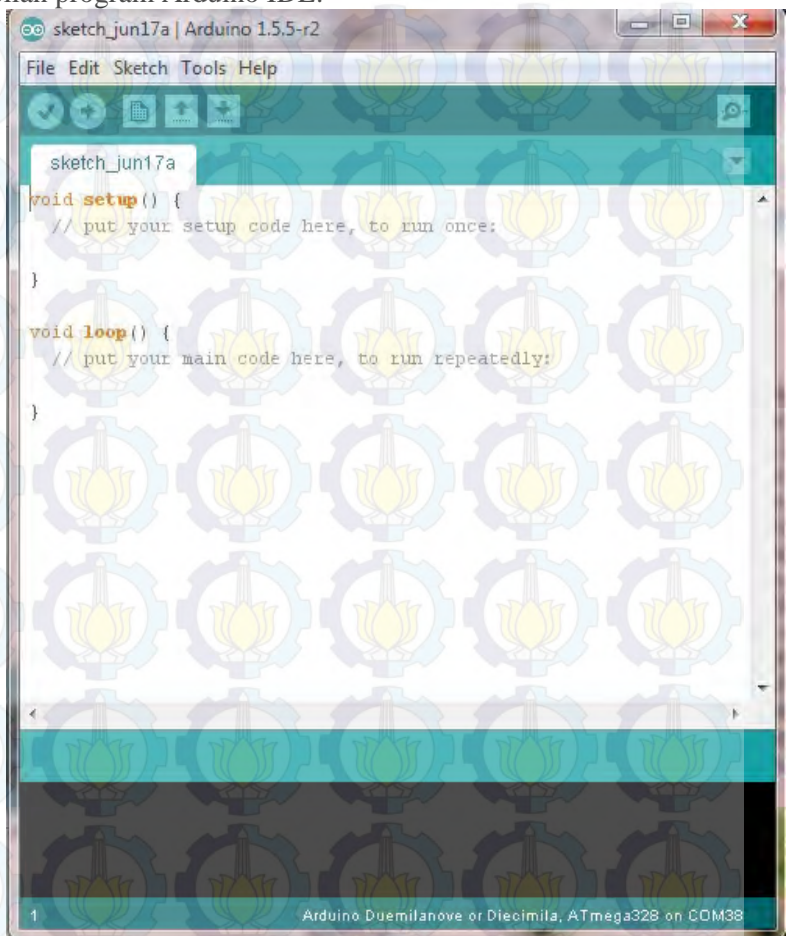


Gambar 2.6 Skematik Rangkaian Arduino Duemilanove

### **2.9.2 Software IDE Arduino**

Software untuk Arduino biasa disebut dengan IDE Arduino, yakni sebuah software yang dikembangkan dengan basis IDE *Processing* yang menggunakan bahasa yang hampir serupa

dengan C++ dan Java. Gambar 2.7 berikut ini adalah contoh tampilan program Arduino IDE:



Gambar 2.7 Program Arduino IDE (Arduino, 2013)

Bahasa dan alur pemrogramannya cukup mudah dimengerti walaupun cukup “*Case Sensitive*” dan belum dilengkapi dengan Code Completion (Auto Complete). Arduino Alpha dapat dijalankan pada OS *multry platform* seperti Windows, Linux, dan

Macintosh. Arduino Alpha bersifat Executable File dan dapat langsung dijalankan tanpa harus melakukan proses instalasi terlebih dahulu asalkan pada komputer telah terinstalasi Java Runtime. IDE Arduino Alpha terdiri dari:

- a. **Editor program**, sebuah window yang memungkinkan user menulis dan melakukan proses editing program dalam bahasa Processing.
- b. **Compiler**, sebuah modul yang mengubah kode program (bahasa Processing) menjadi kode biner.
- c. **Uploader**, sebuah modul yang berfungsi memuat (meng+upload) kode biner dari computer kedalam memory di dalam Arduino board.

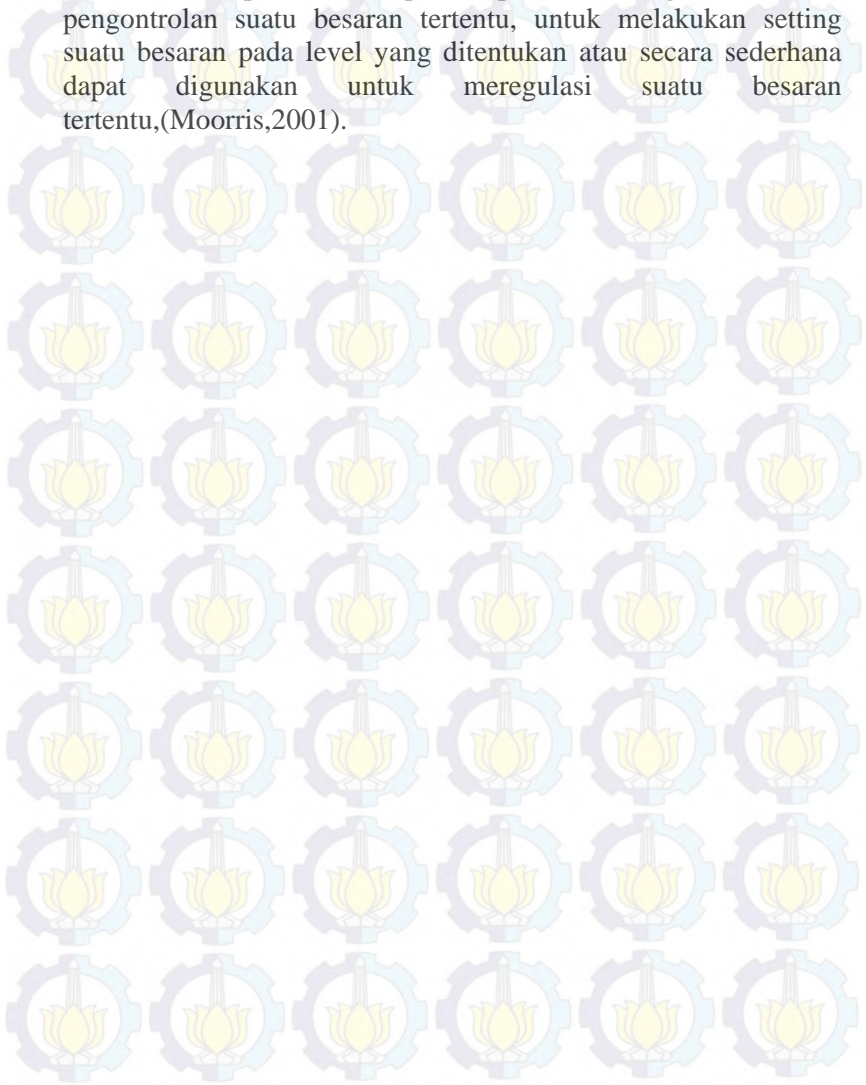
Pada program ini juga disediakan serial terminal yang dapat digunakan untuk mengirimkan dan menerima data secara serial. Dengan kata lain, jika *Board Arduino* yang mengirimkan data serial dihubungkan langsung dengan komputer, data tersebut dapat langsung dibaca di serial terminal Arduino IDE.

## 2.10 Sistem Akuisisi Data

Sebuah sistem akuisisi data berupa interface antara lingkungan analog dan digital. Lingkungan analog meliputi transducer dan pengkondisi sinyal dengan segala kelengkapannya, sedangkan lingkungan digital meliputi *analog digital converter* (ADC) dan selanjutnya proses digitalisasi yang dilakukan oleh mikroprosesor atau sistem berbasis mikroprosesor.

Struktur sistem akuisisi data meliputi jumlah besaran fisik yang akan diambil, variasi kecepatan perubahan, serta tujuan dari sistem, salah satu contoh struktur sistem akuisisi data yang sederhana dan sering dipakai adalah *one way DAS (digital acquisition data)*. Sistem ini mempunyai struktur yang berupa *open-loop*, dimana kegunaan atau fungsi dari sistem ini terbatas hanya untuk pembacaan besaran fisik yang diukur secara digital untuk selanjutnya ditampilkan pada display (LCD, CRT dan

sebagainya) dan merekamnya sebagai *off-line processing*. Jika sistem ini berupa closed-loop hasil pembacaan digunakan untuk pengontrolan suatu besaran tertentu, untuk melakukan setting suatu besaran pada level yang ditentukan atau secara sederhana dapat digunakan untuk meregulasi suatu besaran tertentu, (Moorris, 2001).





*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

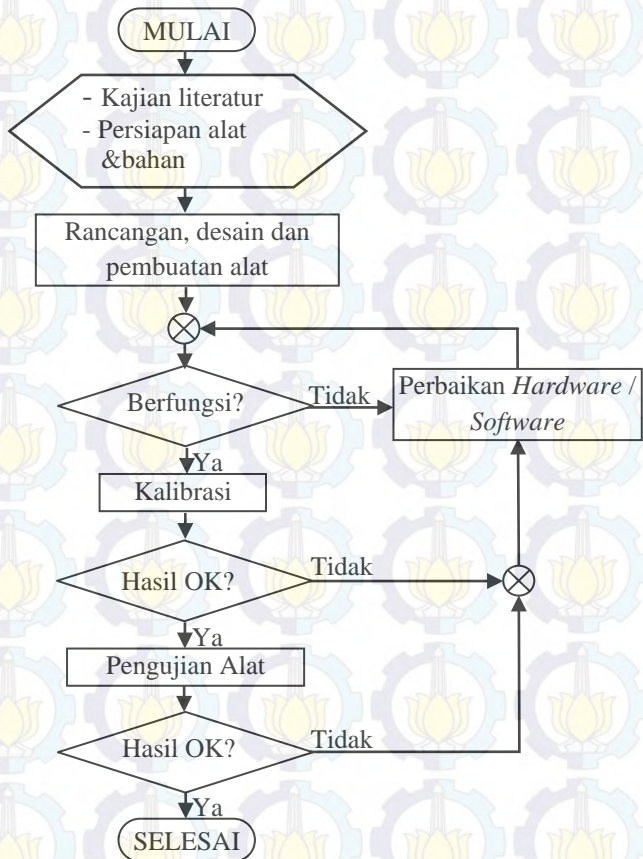




## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1. Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah dalam melakukan penelitian tentang tugas akhir ini ,digambarkan dengan diagram alir berikut ini (Gambar-3.1):



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

### 3.2. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain seperti pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Alat dan Bahan

| No | Jenis           | Nama                      | Keterangan                               |
|----|-----------------|---------------------------|--|
| 1  | Catu Daya       | Baterai 12V               | Sumber daya peralatan                    |
| 2  | <i>Hardware</i> | Potensiometer             | Sebagai sensor ketinggian air            |
| 3  |                 | Modul Arduino Duemilanove | pengolah data dari sensor                |
| 4  |                 | Modul Memory card         | Sebagai tempat Penyimpanan data          |
| 5  |                 | memory card               | Piranti untuk mengopersaikan memory card |
| 6  |                 | PC                        | Untuk memprogram Arduino Duemilanove     |
| 7  | <i>Software</i> | Kabel USB A-B             | Koneksi Arduino ke Komputer              |
| 8  |                 | IDE Arduino               | Untuk Pemrograman Arduino                |
| 9  |                 | Microsoft excel           | Pengolahan data dari sensor              |

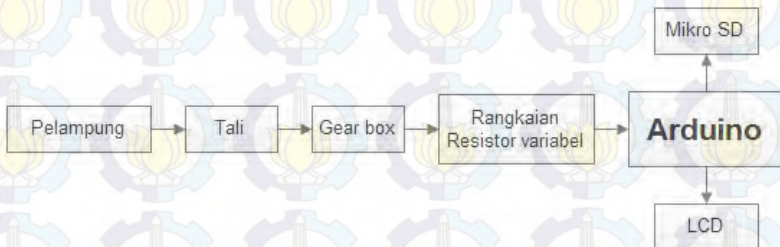
### 3.3. Langkah Kerja

#### 3.3.1. Kajian Literatur

Kajian literatur digunakan untuk mengetahui konsep dasar dan cara kerja peralatan-peralatan yang digunakan seperti sensor yang menggunakan potensiometer mikrokontroller (Board Arduino), prinsip kerja girasi dan pelampung.

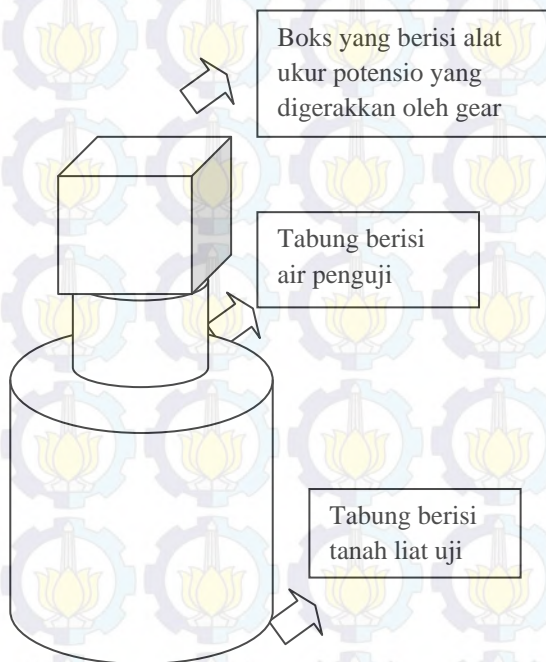
### 3.3.2. Rancangan Desain dan Pembuatan Alat

Secara garis besar, prinsip kerja dari alat yang telah dibuat adalah dengan memanfaatkan gaya dari beban pelampung yang dimanfaatkan untuk menarik/memberi gaya tarik pada gear. Berikut adalah diagram alir penelitian pembuatan alat seperti pada gambar 3.2 di bawah ini.



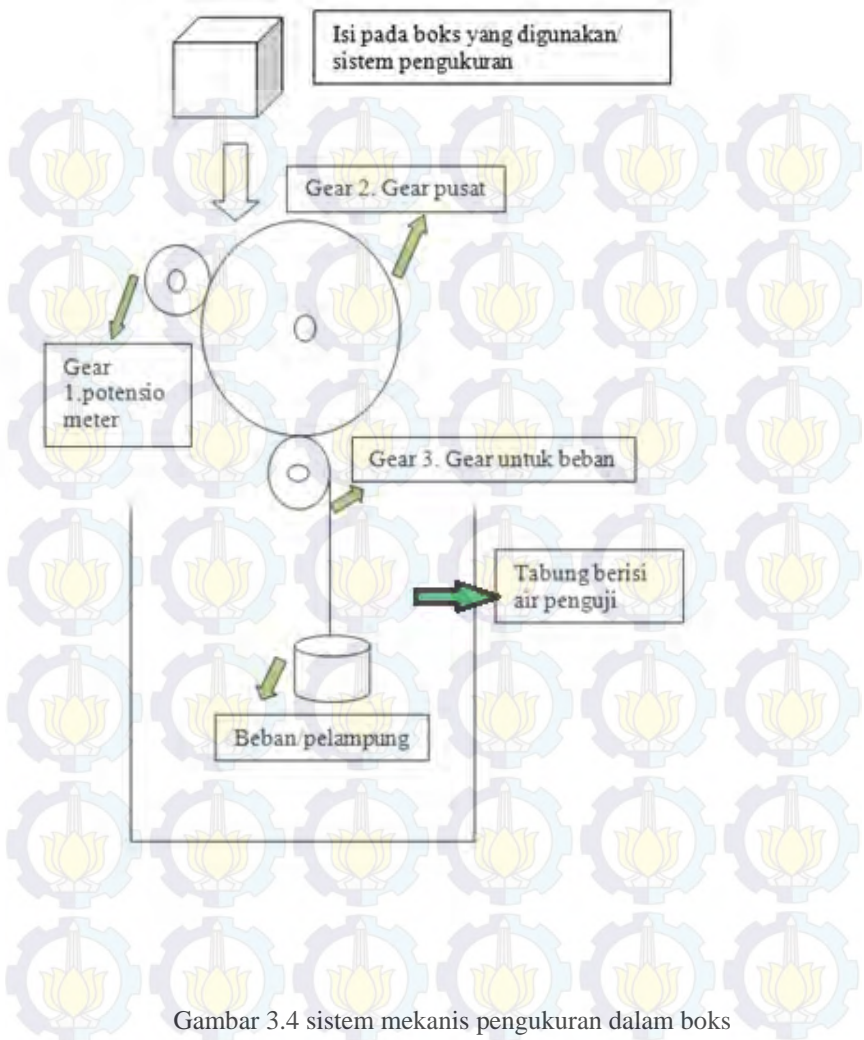
Gambar 3.2 diagram blok pengambilan data

Pada dasarnya gerakan dari permukaan cairan diikuti dengan perubahan posisi pelampung yang selanjutnya diolah ke transduser potensiometer. Hal ini terlihat seperti gambar 3.2, pada gambar tersebut menjelaskan tentang prinsip kerja dari percobaan pengukuran koefisien permeabilitas tanah, boks berisi alat ukur yang merubah gaya tarik dari pelampung menjadi perubahan hambatan potensiometer diletakkan di atas tabung yang berisi air untuk menguji tanah.



Gambar 3.3 rancang bangun sistem pengukuran dengan metode falling head yang dimodifikasi





Gambar 3.4 sistem mekanis pengukuran dalam boks

Model sistem yang berada di dalam boks adalah seperti yang terlihat pada gambar 3.4 di atas, penjelasannya adalah ketika sebuah beban/pelampung yang berada pada tabung yang berisi air penguji dalam keadaan mengapung (pelampung memiliki massa awal, yang berisi air) yang disebabkan oleh adanya air yang

memberikan tekanan hidrostatik, maka keadaan ini akan memberikan tekanan/tarikan yang sama pada tali yang terhubung ketika terjadi perubahan level/ketinggian air yang disebabkan oleh pengurangan volume air akibat resapan dari tanah. Keadaan ini yang dimanfaatkan dalam prinsip pengukuran koefisien permeabilitas tanah dengan metode falling head .

Dari persamaan hukum Darcy yang digunakan untuk menentukan koefisien permeabilitas tanah yaitu :

$$Q = k \cdot i \cdot a \quad (3.1)$$

$$i = \frac{h}{l} \quad (3.2)$$

Q = debit air

k = koefisien permeabilitas

i = gradien linier

a = luas penampang

h=tinggi air pada tabung uji

l= panjang tabung uji yang berisi tanah liat

hukum yang berlaku pada tabung penguji berisi tanah liat/tanah uji adalah  $Q_1=Q_2$  , yaitu debit air pada pipa yang berisi air adalah sama besar dengan debit air pada tabung yang berisi tanah uji, sehingga persamaan yang berlaku adalah :

$$Q_1 = Q_2 \quad (3.3)$$

$$A \cdot v = k \cdot i \cdot a$$

$$k \cdot i \cdot a = A \cdot \frac{dh}{dt}$$

$$\int_{t_0}^t k \cdot i \cdot a \, dt = \int_h^{h_0} A \cdot dh$$

$$\int_{t_0}^t k \cdot \frac{h}{l} \cdot a \, dt = \int_{h_0}^h A \cdot dh$$

$$\int_{t_0}^t \frac{k}{l} \cdot a \, dt = \int_h^{h_0} A \cdot \frac{dh}{h}$$

$$\frac{k}{l} \cdot a \cdot (t - t_0) = A \cdot \ln(h_0 - h)$$

$$k = \frac{l \cdot A}{t \cdot a} \ln h_0 - \frac{l \cdot A}{t \cdot a} \ln h \quad (3.4)$$

dimana : k = koefisien permeabilitas tanah uji (cm/s)

A=luas tabung berisi air uji (cm<sup>2</sup>)

l = panjang tabung berisi tanah uji (cm)

a = luas tabung berisi tanah uji (cm<sup>2</sup>)

t = waktu yang diperlukan untuk perubahan ketinggian  
(cm/s)

$h_0$  =tinggi awal

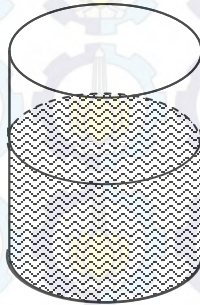
$h_t$  = ketinggian selang waktu t

Dari sistem pengukuran yang telah diterapkan, diperoleh nilai waktu untuk perubahan penurunan level setiap 1mm, dengan memanfaatkan aplikasi timer pada board ArduinoDuemilanove, dapat diketahui waktu perubahan tiap mm, hasil data ini kemudian dirata-rata untuk mengetahui nilai k yang sebenarnya.

### 3.3.3 Pelampung

Pelampung merupakan hal yang sangat penting pada sistem pengukuran ini, karena fungsi dari pelampung adalah memberikan gaya pada gear untuk merubah nilai potensiometer. Berat yang disarankan adalah harus melebihi dari gaya gesek dari gear tersebut. Pelampung harus berada pada kondisi yang

setimbang ketika digunakan, seperti yang terlihat pada gambar 3.5 dibawah ini , pelampung yang baik adalah memiliki gaya berat yang ringan di dalam air namun memiliki gaya berat yang tinggi apabila tidak air. Hal ini sangat menentukan sensitifitas dari transduser, sebab apabila gaya gesek yang terjadi pada gear tinggi, maka gaya yang dibutuhkan untuk merubah/memutar gear akan berbeda-beda.



Gambrar 3.5 model pelampung yang digunakan

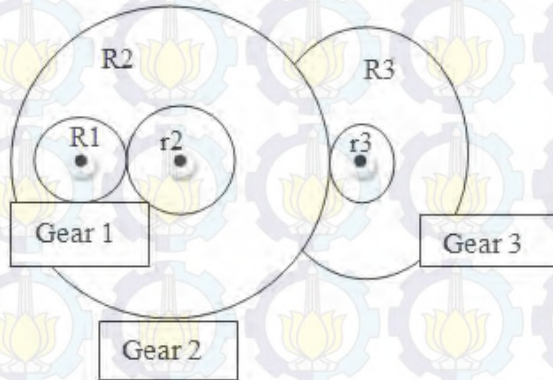
Pelampung yang terlihat seperti pada gambar 3.5 dibuat dengan menggunakan plastik mika, yang bertujuan untuk dapat menyesuaikan ukuran dengan tabung penguji, tabung tersebut berisi air.

### 3.3.4 Gear

Sistem girasi pada penelitian ini terdiri dari 3 gear yang saling berhubungan, dengan jari-jari yang berbeda. Pada gear pertama memiliki jari-jari yang lebih kecil daripada jari-jari gear kedua, begitu juga dengan gear ketiga mempunyai jari-jari yang lebih kecil dari gear kedua, hal ini bertujuan untuk meningkatkan torsi pada potensiometer, sehingga gaya yang dibutuhkan untuk memutar potensiometer menjadi lebih ringan. Hal ini juga akan



berpengaruh pada panjang rentang pengukuran yang dapat diukur, karena pada pengukuran ini, panjang pengukuran bergantung pada keliling lingkaran ketiga, sehingga semakin panjang jari-jari semakin panjang pula keliling lingkaran tersebut.



Gambar 3.6 model jar-jari girasi

Persamaannya :

$$\frac{R_1}{r_2} = \frac{p_2}{p_1} \text{ (gear 1 terhadap gear 2 kecil)}$$

$$\frac{R_2}{r_3} = \frac{p_3}{p_2} \text{ (gear 2 besar terhadap gear 3 kecil)} \quad (3.5)$$

Dimana :  
 R = jari-jari gear besar  
 r = jari-jari gear kecil  
 p = putaran gear

Karena pada gear 2 dan gear 3 terdapat dua jari-jari dalam satu gear/sepusat, maka kedua gear mempunyai rotasi yang sama

namun keliling yang berbeda. Potensiometer terletak pada gear pertama, sehingga dapat digunakan untuk acuan menentukan panjang lintasan maksimum yang dapat dijangkau (potensiometer hanya dapat digunakan untuk satu putaran), sehingga panjang lintasan maksimum yang dapat diukur oleh potensiometer tergantung pada keseluruhan nilai jari-jari, persamaannya ;

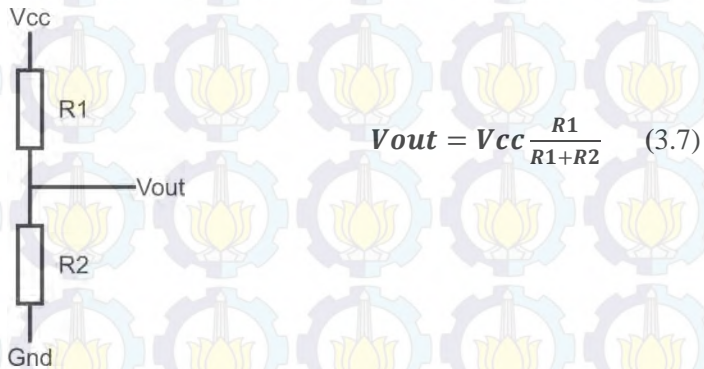
$$\begin{aligned}
 \text{Lintasaan}_3 &= 2\pi \cdot R_3 \cdot \text{putaran}_3 \\
 &= \frac{R_2}{r_3} \cdot 2\pi \cdot \text{putaran}_2 \\
 &= \frac{R_2}{r_3} \cdot 2\pi \cdot \text{putaran}_1 \cdot \frac{R_1}{r_2} \\
 \text{Lintasaan}_3 &= \frac{R_2}{r_3} \cdot 2\pi \cdot \frac{R_1}{r_2} \quad (3.6)
 \end{aligned}$$

Dari perumusan diatas, maka dapat diperoleh konfigurasi jari-jari gear yang akan dipakai untuk menentukan panjang rentang pengukuran. Ukuran jari-jari gear yang digunakan adalah  $R_1 = 1,5$  cm,  $r_2 = 2,5$  cm dan  $R_2 = 6$  cm .panjang lintasan sebesar 20,7 cm.

### 3.3.5 Sensor Ketinggian

Tranduser yang digunakan pada pengukuran level menggunakan tranduser potensiometer yang terhubung dengan arduinoDuemilanove. Potensiometer yang pada dasarnya adalah dua buah resistor yang terhubung secara seri, yang kemudian diberi beda potensial, akan memberikan tegangan analog yang berbeda-beda apabila nilai resistansinya berubah akibat perputaran pada potensiometer tersebut. Tegangan yang dipakai adalah 5 volt yang diperoleh dari internal board arduino

duemilanove, sehingga potensiometer ini berfungsi sebagai sebuah pembagi tegangan, nilai tegangan pada salah satu resistor inilah yang dipakai untuk acuan pengukuran dan pengolahan data level ketinggian air. Nilai digital dari Arduino Duemilanove adalah 1023, karena pada mikrokontroler yang dipakai adalah jenis atmega 32 yang mempunyai spesifikasi ADC 10 bit. Pengkalibrasian dilakukan dengan membagi nilai adc maksimum yaitu 1023 dengan panjang lintasan maksimum yang ditempuh.



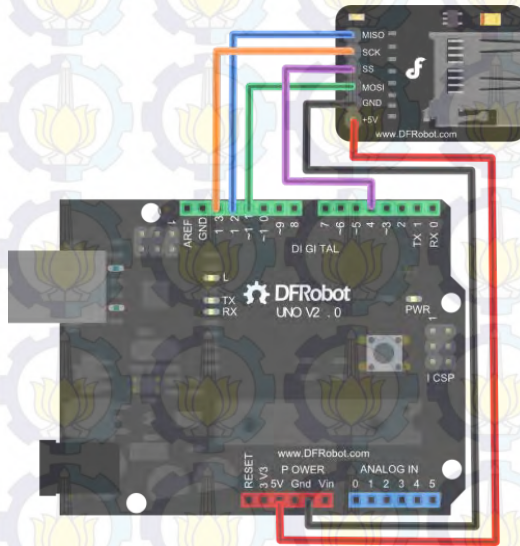
Gambar 3.7 rangkaian pembagi tegangan

Rangkaian pembagi tegangan seperti pada gambar 3.7 diatas, diterapkan pada proses pengukuran ketinggian air, devais yang digunakan adalah potensiometer 10k, ketika potensiometr berputar dikarenakan oleh gaya dari beban bandul, maka nilai resistansinya pun juga akan berubah, sehingga tegangan analog nbya pun akan mengalami perubahan, tegangan inilah yang menjadi parameter ketinggian dari level air tersebut.

### 3.3.6 Data Logger

Teknik pengumpulan data yang digunakan adalah dengan memanfaatkan fitur dari arduino untuk aplikasi micro sd yang dihubungkan dengan board ArduinoDuemilanove. Data yang

diperoleh dari hasil pembacaan tegangan analog arduino kemudian disimpan dalam memory micro sd yang kemudian dibaca oleh komputer/pc.berikut adalah konfigurasi pin nya:



(www.df-robot.com)

Gambar 3.8 konfigurasi pin memori

Modul simcard yang terlihat seperti gambar 3.8 diatas, dikonfigurasi dengan Arduino Duemilanove, pin dari modul simcard adalah miso,mosi,sck dan sd (*select data*) ,pin harus sesuai dengan Arduino Duemilanove agar transmisi data dapat dilakukan. Untuk kapasitas penyimpanan memori dapat dipilih sesuai dengan jumlah data yang akan disimpan, pada penelitian ini digunakan micro SD sebesar 2 GB.



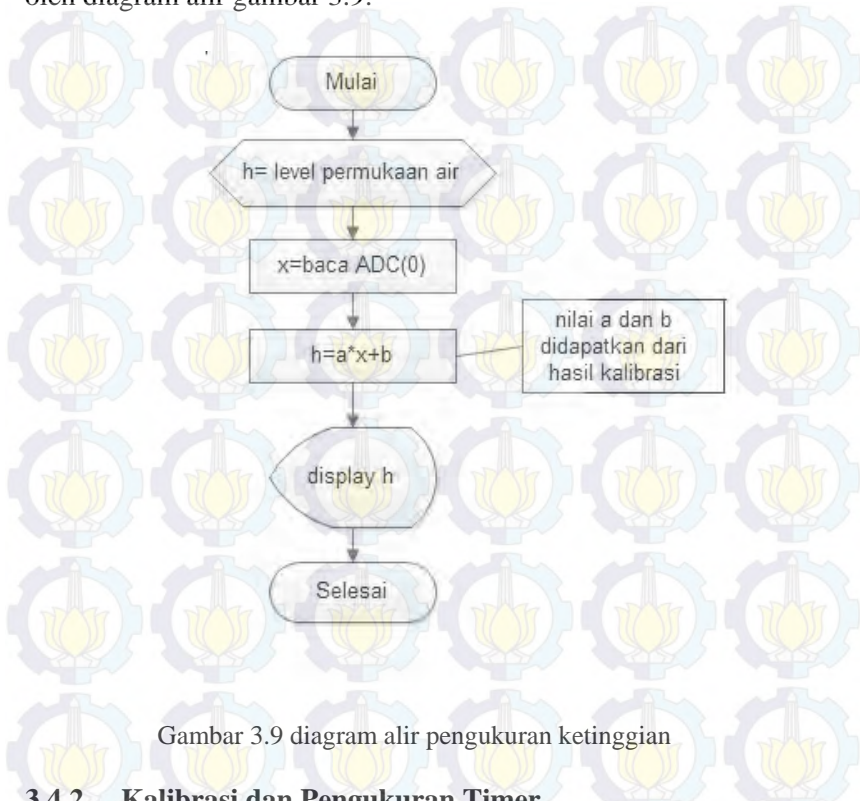
### **3.4 Pengukuran**

#### **3.4.1 Kalibrasi dan Pengukuran Level**

Kalibrasi level dilakukan dengan cara mempersiapkan kalibrator terlebih dahulu yaitu sebuah sekrup dengan panjang 3cm dan telah diukur menggunakan jangka sorong dari setiap satu putaran sekrup. Setelah sekrup sudah siap, maka langkah selanjutnya adalah membuat tatakan pengkalibrasi yaitu sebuah bejana yang berisi air untuk meletakkan bandul, seperti yang terlihat pada gambar yang terlampir. Ketika sekrup diputar, maka hal yang akan terjadi adalah pemendekan/pemanjangan jarak ukur kalibrasi, cara melakukan adalah dengan mengetahui terlebih dahulu nilai jarak dari satu putaran, sehingga dalam pengkalibrasian cukup memberi tanda pada alat kalibrator untuk satu putarannya.

Setelah persiapan mekanik siap, selanjutnya adalah pada sistem data, ketika bandul yang berada pada kalibrator turun dikarenakan perputaran sekrup, bandul yang berisi air dan pemberat memiliki cukup gaya untuk menggerakkan gear yang telah terpasang potensiometer. Ketika bandul turun, potensiometer juga ikut berputar yang mengakibatkan perubahan nilai resistansinya. Potensiometer hanya mampu untuk satu kali putaran, dengan settingan tertentu seperti dengan rumus perbandingan gear diatas, maka dapat ditentukan seberapa jauh lintasan yang dapat diukur oleh transduser potensiometer. Setelah panjang lintasan diketahui selanjutnya adalah mengkonversi nilai digital pada Arduino Duemilanove yang terbaca, karena sistem memanfaatkan fitur ADC pada Arduino Duemilanove sebagai cara pengukuran. Hasil yang didapat adalah perbandingan nilai ADC dengan jarak yang sesungguhnya yang kemudian dapat dilakukan proses operasi matematika yang hasilnya adalah nilai ADC yang terbaca merupakan nilai sebenarnya.

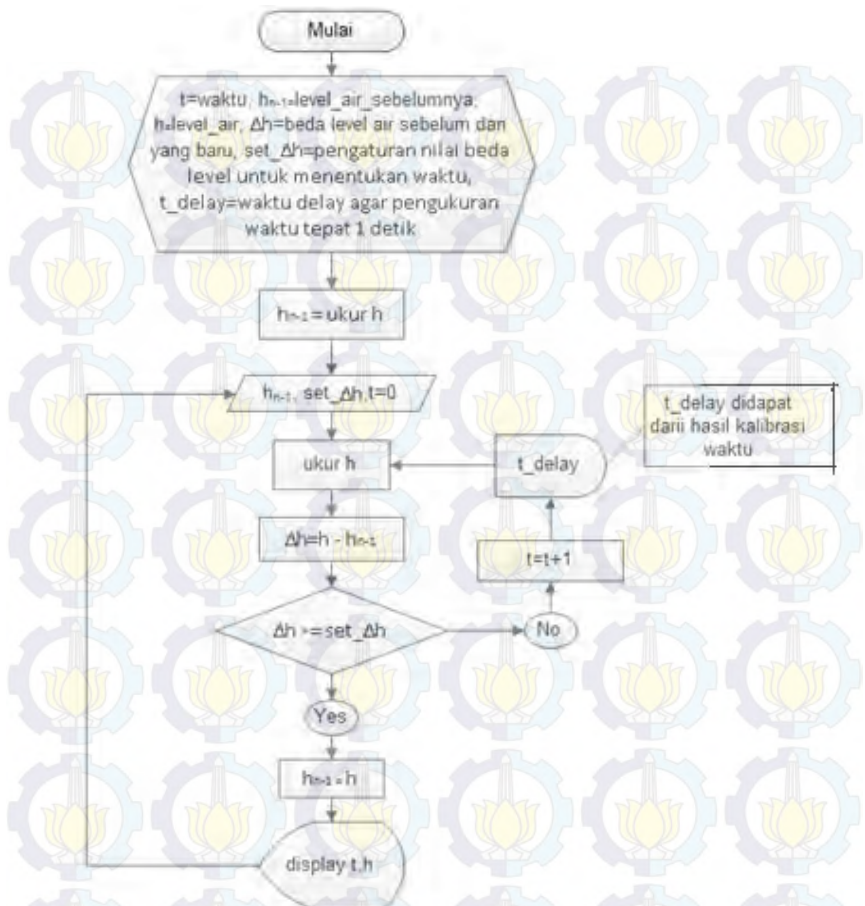
Pengukuran level air dilakukan sebagaimana digambarkan oleh diagram alir gambar 3.9:



Gambar 3.9 diagram alir pengukuran ketinggian

### 3.4.2 Kalibrasi dan Pengukuran Timer

Timer internal Arduino Duemilanove belum tentu memiliki nilai yang sama dengan waktu yang sesungguhnya, oleh sebab itu maka dilakukan pencocokan dengan waktu yang sebenarnya yaitu dengan menggunakan stopwatch, script pada ArduinoDuemilanove disetting agar dapat memunculkan nilai dari tia waktu atau yang lebih umumnya dikenal dengan timer. Setelah dilakukan pengkalibrasian maka diperoleh data waktu dari ArduinoDuemilanove dengan waktu dari stopwatch, setelah dilakukan akuisisi maka akan didapat nilai waktu yang sesungguhnya dari timer Arduino Duemilanove.



Gambar 3.10 diagram alir pengukuran waktu



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## **BAB IV**

### **ANALISIS HASIL PENELITIAN**

#### **4.1. Hardware**

##### **4.1.1. Bandul**

Bandul pada instrument ini berfungsi sebagai sensor yang akan mendeteksi level permukaan air, sehingga bandul yang dibuat harus bisa terapung di atas air. Oleh Karena itulah maka bandul ini dibuat dengan menggunakan mika berbentuk tabung berisi air dan udara yang diisolasi (Gambar 3.5), yang bertujuan agar rapat massa jenis bandul lebih ringan dari pada massa jenis air, sehingga bandul dapat terapung di air. Adapun pemilihan mika tipis sebagai bahan dari bandul sengaja dilakukan karena massa jenis mika yang relatif kecil, sehingga bandul hanya tercelup sampai permukaan air dalam bandul berimpit dengan permukaan air yang diukur, serta bagian bandul yang tidak tercelup dalam air tidak memberikan tekanan cukup besar yang dapat menyebabkan semakin cepatnya rembesan air dalam tanah sehingga pengukuran permeabilitas tanah menjadi kurang teliti. Hal penting lainnya yang perlu diperhatikan dalam pembuatan bandul ini adalah massa bandul harus dibuat cukup berat agar dapat menarik atau memutar gear pada gearbox di atasnya.

##### **4.1.2. Gearbox**

Gearbox dalam hal ini berfungsi sebagai pengkondisi sinyal yang mengkonversi sinyal pergeseran bandul menjadi sinyal rotasi agar dapat

memutar resistor variabel. Adapun rentang pergeseran maksimal yang dapat dikonversi adalah sebesar 17 cm. Hal ini berhubungan dengan jari-jari gearbox yang dipakai dan sudut putar maksimal resistor variabel yakni  $\pm 330^\circ$ .

#### 4.1.3. Pembuatan Rangkaian Resistor Variabel

Rangkaian resistor variabel ini berfungsi sebagai *transducer*, yakni pengubah sinyal mekanik menjadi sinyal listrik atau tegangan. Pada prinsipnya rangkaian resistor variabel ini adalah rangkaian pembagi tegangan (gambar 3.7). Jika ketinggian permukaan meningkat, maka resistansi dari pin GND ke pin  $V_O$  akan menurun, sehingga sesuai dengan persamaan 3.7, maka tegangan keluaran ( $V_O$ ) pun menurun dengan perbandingan yang linier.

#### 4.2. Kalibrasi Ketinggian Permukaan Air

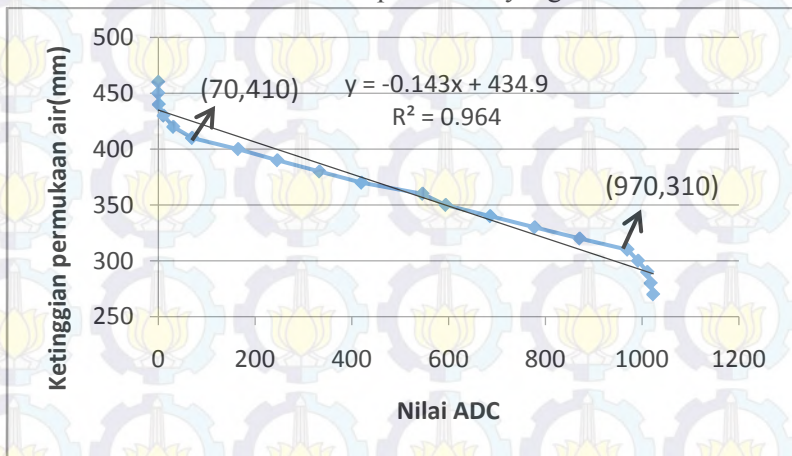
Kalibrasi ketinggian permukaan air dilakukan dengan cara membandingkan data hasil pengukuran ketinggian air menggunakan penggaris dengan pembacaan nilai ADC oleh Arduino Duemilanove, data yang diperoleh adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1 hasil pembacaan level menggunakan kedua alat ukur

| Pembacaan penggaris (cm) | Pembacaan ADC (cm) |
|--------------------------|--------------------|
| 310                      | 309                |
| 320                      | 320                |
| 330                      | 330                |
| 340                      | 340                |

|     |     |
|-----|-----|
| 350 | 351 |
| 360 | 357 |
| 370 | 370 |
| 380 | 380 |
| 390 | 390 |
| 400 | 400 |
| 410 | 410 |

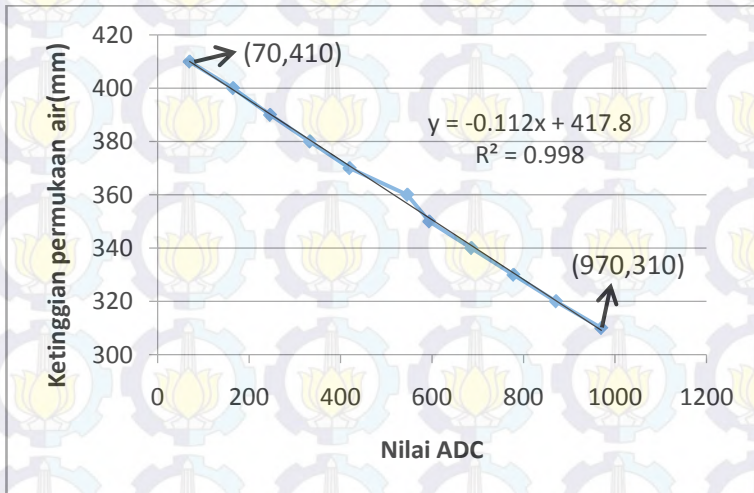
Dari tabel pembacaan nilai ADC diatas, terdapat hubungan antaralevel air yang sesungguhnya dengan pembacaan level dengan menggunakan sensor level yang telah dibuat, nilai yang terbaca oleh alat ukur memiliki perbedaan yang kecil.



Gambar 4. 1 Grafik hubungan antara ADC dengan ketinggian sebelum dikalibrasi

Berdasarkan data pada gambar 4.1, terlihat bahwa pada ketinggian dibawah 310 mm dan diatas 410 mm, kurva hubungan antara ketinggian dengan nilai ADC tidak linier.

Hal ini diakibatkan oleh gesekan di dalam resistor variabel yang relatif besar pada ketinggian  $\geq 410$  mm atau pada nilai  $ADC \leq 70$ . Hal serupa terjadi pula untuk ketinggian  $\leq 310$  mm atau  $\geq 970$ . Oleh karena itu untuk menentukan faktor kalibrasi yang terbaik adalah dengan mengambil rentang data antara nilai  $ADC=410$  sampai dengan nilai  $ADC=970$  sebagai berikut :



Gambar 4.2 grafik ketinggian permukaan air terhadap nilai ADC setelah dikalibrasi

Sehingga dari data tersebut dengan memberikan batas kerja alat hanya pada ketinggian 310 mm sampai dengan 410 mm, maka diperoleh faktor kalibrasi ketinggian permukaan(h) airnya adalah

$$h = -0,112 \cdot (\text{nilai ADC}) + 417,8 \quad (4.1)$$



Adapun skala pengukuran terkecil dari pengukur ketinggian ini adalah

$$\text{skala terkecil} = \frac{410 - 310}{970 - 410} \text{ (mm)}$$

$$\text{skala terkecil} = 0,17857 \text{ mm}$$

Sehingga ketelitian pengukuran ketinggian permukaan air ini adalah

$$0,5 \cdot \text{skala terkecil} = 0,08928 \text{ mm}$$

#### 4.3 Pengukuran Permeabilitas Tanah

Berikut adalah data hasil percobaan pengukuran permeabilitas pada sampel tanah :

Tabel 4.2 data nilai waktu selisih jarak 1cm

| $h_0 - h(\text{cm})$ | $\Delta t(\text{detik})$ |
|----------------------|--------------------------|
| 41-40                | 596                      |
| 40-39                | 601                      |
| 39-38                | 662                      |
| 38-37                | 788                      |
| 37-36                | 763                      |
| 36-35                | 868                      |
| 35-34                | 967                      |
| 34-33                | 1228                     |
| 33-32                | 1209                     |
| 32-31                | 1396                     |

Kemudian dengan menggunakan persamaan 3.4 dapat dihitung nilai koefisien permeabilitas tanahnya adalah sebagai berikut :

Tabel 4.3 data perhitungan nilai koefisien permeabilitas tanah

| $h_0-h$   | $\Delta t$ | $k$         |
|-----------|------------|-------------|
| 41-40     | 596        | 7.25035E-07 |
| 40-39     | 601        | 7.37207E-07 |
| 39-38     | 662        | 6.86663E-07 |
| 38-37     | 788        | 5.92252E-07 |
| 37-36     | 763        | 6.28417E-07 |
| 36-35     | 868        | 5.67961E-07 |
| 35-34     | 967        | 5.24593E-07 |
| 34-33     | 1228       | 4.25429E-07 |
| 33-32     | 1209       | 4.45413E-07 |
| 32-31     | 1396       | 3.97996E-07 |
| Rata-rata |            | 5.73097E-07 |

Dan dengan melakukan beberapa perhitungan ralat sebagaimana terlampir, maka diperoleh nilai koefisien permeabilitas sampel tanah pada percobaan ini adalah  $(5.73097 \pm 1.17256) \times 10^{-7}$  meter/detik.

Pada penelitian sebelumnya dan dengan sampel tanah yang diambil ditempat yang sama, yakni oleh laboratorium mekanika tanah jurusan teknik sipil FTSP ITS, didapatkan nilai permeabilitas tanah sebesar  $3 \times 10^{-6} \text{ cm/s} - 7 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$ . Dari data yang telah didapatkan, terdapat nilai yang berbeda, hal ini dikarenakan kondisi tanah yang berubah kondisi ketika dilakukan pengambilan data. Pada percobaan ini dilakukan dengan wadah sampel yang berbeda dengan yang dilakukan oleh laboratorium teknik sipil FTSP ITS. Kekurangan ini dapat dijadikan pelajaran untuk penyempurnaan alat pada penelitian selanjutnya.

#### 4.4 Pengukuran Permeabilitas Pasir

Berikut adalah data hasil percobaan pengukuran permeabilitas pada sampel tanah :

Tabel 4.4 data perhitungan nilai koefisien permeabilitas pasir

| $h_0-h$   | $\Delta t$ | $k$         |
|-----------|------------|-------------|
| 41-40     | 18         | 2.40067E-05 |
| 40-39     | 19         | 2.3319E-05  |
| 39-38     | 14         | 3.24694E-05 |
| 38-37     | 16         | 2.91684E-05 |
| 37-36     | 19         | 2.52359E-05 |
| 36-35     | 19         | 2.59469E-05 |
| 35-34     | 20         | 2.53641E-05 |
| 34-33     | 20         | 2.61213E-05 |
| 33-32     | 19         | 2.83423E-05 |
| 32-31     | 18         | 3.08668E-05 |
| Rata-rata |            | 2.70841E-05 |

Dari data yang diperoleh diatas, nilai koefisien permeabilitas pasir lebih besar dari tanah sampel sebelumnya, hal ini berarti bahwa tanah jenis pasir ini adalah jenis tanah yang lebih cepat dalam meloloskan air daripada sampel sebelumnya.





## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan beberapa hal berikut ini:

1. Telah dapat dibuat alat ukur koefisien permeabilitas tanah dengan metode falling head berbasis Arduino Duemilanove dengan range pengukuran sepanjang 170 mm.
2. Nilai koefisien permeabilitas tanah sampel adalah sebesar  $5,7 \times 10^{-5}$  cm/s..
3. Untuk jenis pasir diperoleh nilai k sebesar  $2,7 \times 10^{-5}$  cm/s .

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, dapat disarankan beberapa hal untuk pengembangan penelitian berikutnya.

1. Untuk pengukuran dalam skala kecil, penyesuaian gear perlu dicermati, karena gaya gesek dari berpengaruh sangat besar pada percobaan ini



## DAFTAR PUSTAKA

Djarwanti . N. 2008. *komparasi koefisien permeabilitas (k) pada tanah kohesif*, FT-UNS

Indarto, B.2003 . *Instrumentasi 1* , ITS,Surabaya

Morris, Alan S., “*Measurement and Instrumentation Principles*”, 2001, ButterworthHeinemann, ISBN 0-7506-5081-8

Mengko,Rio,Samadikun. 1988. *Sistem Instrumentasi Elektronika*, hal 4-19,ITB ,Bandung

Soedarmo,Purnomo. 1993. *Mekanika Tanah*, hal 179-188, Kanisiusanisius,Malang

Putra,Setyanto.2012.*model alat uji permeabilitas lapangan untuk jenis tanah lempung*, UNILA.Lampung

<http://www.df-robot.com>

<http://www.arduino.cc/>





## LAMPIRAN A

### Kode Program Arduino

#### B.i Kode Program Untuk Data Logger

```
#include<LiquidCrystal.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
LiquidCrystal lcd(7,6,5,4,3,2);
int data,lawas,detik,menit;
const int chipSelect = 10;File dataFile;

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  lcd.begin(16,2);
  SD.begin(chipSelect);
  Serial.begin(9600);
  pinMode(A0,INPUT);
  lawas=analogRead(0);
  dataFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE);
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  menit=0;
  detik=0;
  while(1)
  {
    data=-(analogRead(0)*0.112)+417.8;
    if(data-lawas>=4)
    {
      break;
    }
    else
    {
      detik++;
      if(detik>=60)
      {

```

```
        detik=0;
        menit++;
    }
}
delay(999);
}
String dataString = "";

dataString=String(data)+"cm
"+String(menit)+String(detik);
dataFile.println(dataString);
dataFile.flush();
lcd.clear();
Serial.print("H0= ");
lcd.print("H0= ");
Serial.print(lawas);
lcd.print(lawas);
Serial.print(" H1= ");
lcd.print(" H1= ");
Serial.print(data);
lcd.print(data);
Serial.print(" t= ");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(" t= ");
Serial.print(menit);
lcd.print(menit);
Serial.print(" menit ");
lcd.print(" m ");
Serial.print(detik);
lcd.print(detik);
Serial.println(" detik");
lcd.print(" s ");
lawas=data;
}
```

### B.ii Kode Program Untuk Kalibrasi Level

```
void setup()
{
  Serial.begin (9600);
  pinMode(A0,INPUT);
}
void loop()
{
  int data=analogRead(0)/5;
  Serial.print(data);
  Serial.print ("\n");
  delay(1000);
}
```

### B.iii kalibrasi timer

```
int data,lawas,detik,menit;
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(9600);
  pinMode(A0,INPUT);
  lawas=analogRead(0);
}

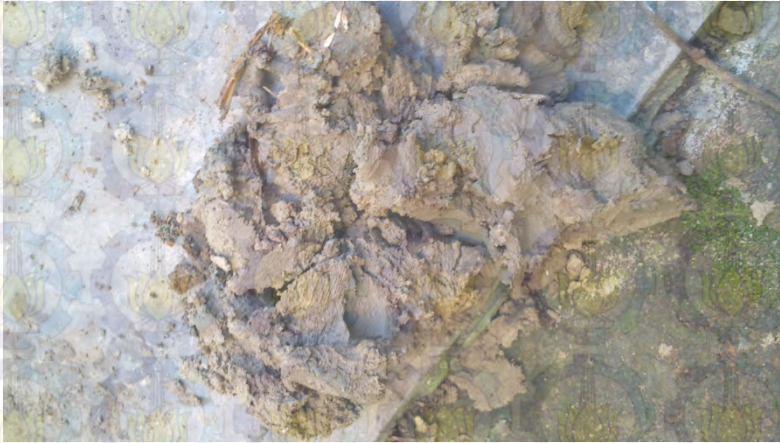
void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  menit=0;
  detik=0;
  while(1)
  {
    data=analogRead(0);
    if(data-lawas>=4)
    {
      break;
    }
    else
    {

```

```
    detik++;  
    if(detik>=60)  
    {  
        detik=0;  
        menit++;  
    }  
    delay(999);  
}  
Serial.print("dari ");  
Serial.print(lawas);  
Serial.print(" ke ");  
Serial.print(data);  
Serial.print("membutuhkan waktu ");  
Serial.print(menit);  
Serial.print(" menit ");  
Serial.print(detik);  
Serial.println(" detik");  
lawas=data;  
}
```



**LAMPIRAN B**  
**Dokumentasi Penelitian**



Tanah sampel A



Tanah sampel B



Tempat sampel



Sensor ketinggian



Tabung percobaan falling head tester





Kalibrasi sensor level



## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Tulungagung, 16 Desember 1992, merupakan anak kedua dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Dharma Wanita, SDN 1 Besuki, SMPN 1 Besuki dan SMA Jawaahirul Hikmah Tulungagung. Setelah lulus dari SMA tahun 2010, Penulis mengikuti seleksi SNMPTN reguler dan diterima di Jurusan

Fisika FMIPA-ITS pada tahun 2010 dan terdaftar dengan NRP. 1110 100 039.

Di Jurusan Fisika ini Penulis mengambil Bidang Studi Instrumentasi . Penulis sempat aktif di beberapa kegiatan Seminar yang diselenggarakan oleh Jurusan, UKM Musik ,Kombong Robot dan aktif sebagai Asisten Praktikum Dasar, dan Asisten Praktikum Elektronika Dasar 1.

